

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN INVERSOR MONOFÁSICO TIPO PUENTE CON MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO SENOIDAL (SPWM) DE DOS NIVELES”

René Lara Moscoso ¹. Annel Reina Rojas ². Norman Chootong ³

¹ Ingeniero Eléctrico Industrial 2002

² Ingeniero Eléctrico Industrial 2002

³ Director de Tópico. Ingeniero Electrónico. Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1982. Profesor de ESPOL desde 1983.

RESUMEN

El trabajo a desarrollarse en este proyecto de tópico consiste en el diseño y construcción de un inversor monofásico tipo puente con técnica de modulación por ancho de pulso senoidal (SPWM) de 2 niveles, utilizando el microcontrolador 87C52 de Intel que envía las señales de control que manejarán el funcionamiento de los transistores (BJTs) de potencia.

Se ha construido un módulo funcional cuya aplicación permite efectuar las pruebas de las señales digitales generadas con distintas cargas, la comprobación de la variación de voltaje (índice de modulación) y variación de la frecuencia.

Inicialmente se plantean los fundamentos teóricos indispensables para la mejor comprensión del inversor implementado, así como su aplicación y utilidad. A continuación se analizan los semiconductores seleccionados, los transistores BJT de potencia; para luego describir la modulación senoidal de ancho de pulso como el método más efectivo, acompañada de una explicación de las otras técnicas de control.

El siguiente paso es el diseño del módulo de potencia, protecciones, fuentes de alimentación y diseño de los controladores de base de los transistores. Con estos antecedentes se deduce un algoritmo que permite generar las

señales necesarias para sintetizar una onda senoidal de amplitud y frecuencia deseada mediante un módulo microprocesado, el mismo que facilita la manipulación del equipo de parte del usuario mediante un circuito digital que a su vez muestra las condiciones actuales de operación.

INTRODUCCIÓN

Los inversores o convertidores DC/AC tienen una gran cantidad de aplicaciones, entre las principales encontramos: las fuentes de alimentación ininterrumpidas (UPS) y el control de la velocidad de los motores eléctricos; al permitir variar en forma efectiva la magnitud y la frecuencia del voltaje AC de salida a partir de una fuente DC.

Los inversores pueden ser monofásicos, trifásicos o polifásicos y utilizan elementos semiconductores de potencia que pueden actuar como switches tales como: tiristores, IGBTs, BJTs de potencia, que pueden trabajar en régimen de conmutación de acuerdo a los requerimientos de diseño, que dependen del tipo o técnica de control a utilizar.

Los transistores BJT de potencia son los escogidos para este tipo de aplicaciones, porque permiten la conmutación en los tiempos apropiados de manera más sencilla que si utilizáramos tiristores. Las razones de esta selección se justificarán más adelante.

Idealmente se deben obtener voltajes y corrientes senoidales, desfasadas un ángulo \emptyset (dependiendo del tipo de carga utilizada); pero en la práctica los elementos de switcheo que se usan para la conversión trabajan en régimen de conmutación, por lo que, las formas de onda son no senoidales y contienen ciertos armónicos, los cuales podrían reducirse con ayuda de filtros.

Para aplicaciones de mediana o baja potencia, los voltajes de onda cuadrada o rectangular pueden ser aceptables, en tanto que, para los de alta

potencia o para cargas especiales se requieren formas de ondas senoidales de baja distorsión.

CONTENIDO

1. OPERACIÓN BÁSICA DE UN CONVERTOR DC-AC.

Los inversores dc-ac generan un voltaje alterno cuya forma de onda no es senoidal pura. La forma más sencilla para obtener un voltaje alterno monofásico es el inversor monofásico tipo puente que genera voltaje alterno cuya forma de onda es cuadrada. En la figura 1-1 se muestra el circuito del inversor monofásico tipo puente.

Los switches son encendidos y apagados en parejas en forma de cruz es decir, S_1 con S_2 y S_3 con S_4 , el número de conmutaciones depende del tipo de técnica de control implementada.

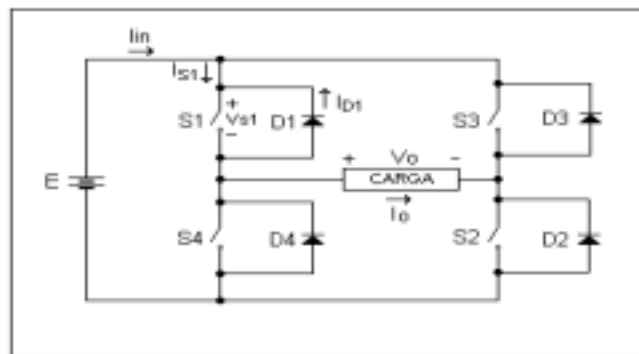


Fig. 1-1: Inversor monofásico tipo puente con diodos de conmutación.

2. DISEÑO DEL INVERSOR

El inversor implementado fue diseñado con la técnica de control SPWM de dos niveles, para lo cual fue necesario un microcontrolador 87C82 de INTEL , esta técnica permite obtener a la salida del inversor según el análisis de Fourier, un voltaje cuya forma de onda es cuadrada pero con una onda fundamental seno.

2.1. ESPECIFICACIONES DEL INVERSOR DISEÑADO

- *Fuente dc de alimentación:* $E = 170 \text{ V.}$
- *Carga en KVA:* $S_o = 1 \text{ KVA.}$
- *Frecuencia de Operación variable:* Desde 50 hasta 300 Hz.
- *Frecuencia máxima de conmutación de los elementos de potencia:* $f = 3.6 \text{ KHz.}$
- *Voltaje de salida variable:* Índice de Modulación desde 0.1 a 1.
- *Corriente instantánea máxima:* $I_{\text{máx}} = 10.18 \text{ A.}$



Fig. 2-1: Módulo didáctico del inversor monofásico.

En la figura 2-1 se puede observar el módulo didáctico del inversor implementado controlando la velocidad de un motor monofásico de fase partida.

2.2. DISEÑO DEL MÓDULO DE CONTROL DEL INVERSOR.

El microcontrolador 87C52 forma parte del módulo de control mostrado en la figura 2-02, que se encuentra formado por tres bloques que van a cumplir con los siguientes requerimientos:

- Un encendido secuencial de protección.
- Manipulación del equipo mediante circuitos de señalización y mando que permiten la comunicación con el inversor implementado.
- Conmutación de los BJTs de potencia por la técnica de control SPWM de dos niveles.
- Puesta en marcha y paro del módulo de potencia con el tipo de carga seleccionada.
- Apagado secuencial de protección.

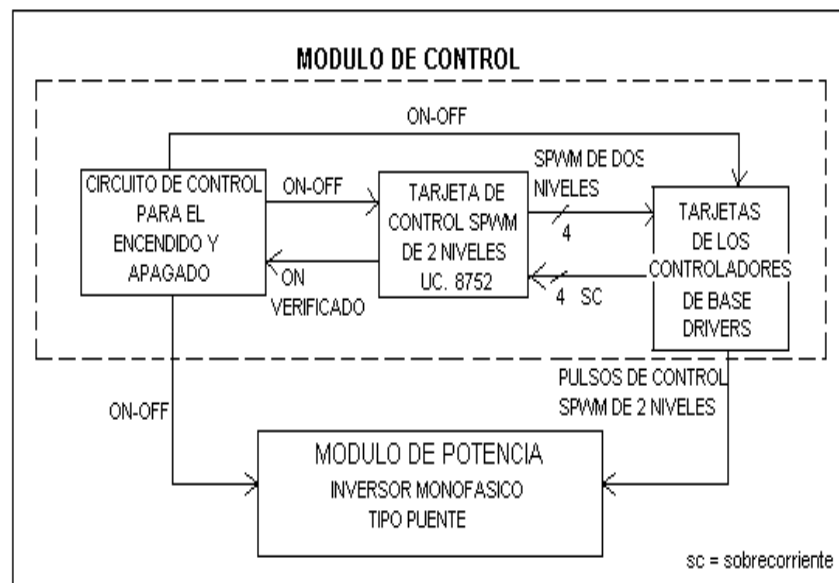


Fig. 2-02: Diagrama de bloques del módulo del inversor.

3. Pruebas para diferentes tipos de carga .

Las figuras que se muestran a continuación pertenecen a diferentes cargas, la onda de arriba es para el voltaje y la inferior para la corriente, en cada figura se indica el valor de la carga, la escala utilizada para la medición , el valor de índice de modulación y de frecuencia.

CARGA RESISTIVA - INDUCTIVA

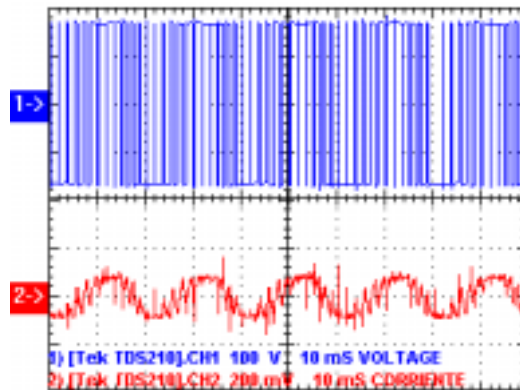


Fig. 3-01 Carga $R = 200 \, \Omega$, $L = 86.5 \, \text{mH}$: $f = 50 \, \text{Hz}$.; $I_m = 1$

CARGA INDUCTIVA

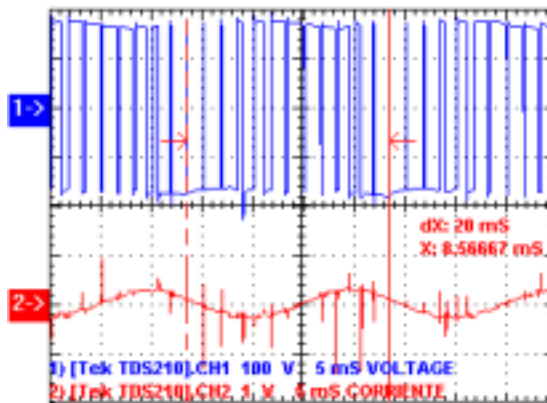


Fig. 3-02: Carga $L = 166.5 \, \text{mH}$: $f = 50 \, \text{Hz}$.; $I_m = 1$

CARGA MOTOR DE FASE PARTIDA

GRAFICO VELOCIDAD VS. FRECUENCIA a $I_m = 1$

FRECUENCIA	VELOCIDAD
50 Hz	1492 RPM
55 Hz	1645 RPM
60 Hz	1795 RPM
65 Hz	1943 RPM
70 Hz	2090 RPM
75 Hz	2240 RPM
80 Hz	2390 RPM
85 Hz	2540 RPM
90 Hz	2691 RPM
95 Hz	2836 RPM
100 Hz	2984 RPM

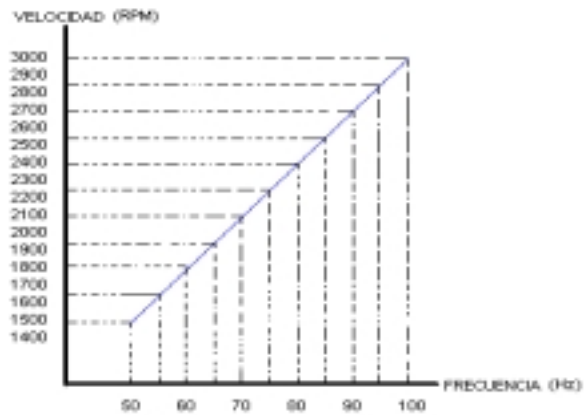


Fig. 3-03: Grafico velocidad vs. Frecuencia a un $I_m = 1$

GRAFICO VELOCIDAD VS I_m a $f = 60$ Hz

I_m	VELOCIDAD
0.2	1686 RPM
0.3	1762 RPM
0.4	1780 RPM
0.5	1786 RPM
0.6	1789 RPM
0.7	1790 RPM
0.8	1793 RPM
0.9	1794 RPM
1	1795 RPM

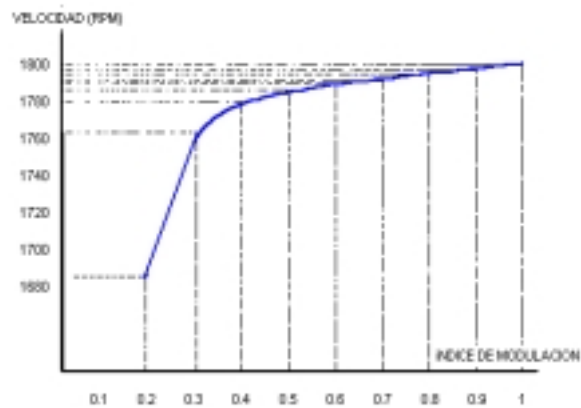


Fig. 3-04: Grafico velocidad vs. I_m a $f = 60$ Hz.

CONCLUSIONES:

La realización práctica de un proyecto permite verificar la teoría referida al tema tratado, por la continua experimentación que esto implica. Las conclusiones que se presentan se las ha realizado tomando en cuenta las debilidades y fortalezas que tiene el equipo.

- El diseño de un inversor, implica mucho más que la generación de pulsos, es tan importante la parte de potencia, los circuitos auxiliares, circuitos de monitoreo y sobre todo el acoplamiento de todas estas partes, constituye un trabajo que requiere mucho cuidado ya que se trabaja con voltajes elevados que generan problemas, principalmente de ruidos, descargas estáticas, aislamientos, etc.
- La disipación de potencia en los BJTs de potencia hace necesario el montaje de disipadores de calor, ya que en ausencia de estos, la capacidad para soportar sobrecargas instantáneas es mínima, además el equipo consta de rejillas de ventilación que ayudan a evacuar el aire el aire caliente permitiendo un margen de disipación de calor aceptable, el otro elemento que disipa calor es la resistencia limitadora de la corriente de encendido (en los controladores de base), la misma que con un correcto dimensionamiento de potencia no tiene problemas de operación.
- La reducción de las pérdidas dinámicas en la configuración darlington fue posible haciéndolos trabajar en estado de cuasi-saturación, que garantiza la saturación (encendido) pero permite un rápido apagado (corte), a esto se añade la presencia de un voltaje negativo entre los terminales B-E para ayudar al apagado, que es donde más pérdidas se presentan.
- En un inversor monofásico tipo puente utilizando la técnica de control SPWM de dos niveles, el riesgo de cortocircuito en un ramal es eminente, cuando una de las dos configuraciones darlington de un ramal se enciende y la otra se apaga, dado al retardo de tiempo de los BJTs de potencia desde

que ha llegado la señal de control de apagado y esta configuración la cumpla. Los cortocircuitos instantáneos son evitados usando un tiempo de zona muerta en el caso mencionado, tratando de no excederse en este tiempo para que no afecte al ancho de los pulsos de control (modulación senoidal).

- No se pueden utilizar darlington monolíticos en lugar de la configuración darlington con BJTs de potencia simples, porque con carga inductiva pura la resistencia entre base y emisor del transistor principal que permite un camino para la corriente de base cuando el transistor está polarizado inversamente (C-E); esto produce que el darlington monolítico se active en su región activa inversa que produce su daño cuando el otro elemento de la rama del puente se ponga en conducción, ya que habría un instante en que ambos conducirían.

- La variación de velocidad es mayor cuando se varía la frecuencia, ya que un incremento de 5 Hz representa un aumento de 150 RPM manteniendo constante el I_m en 1, mientras que, un incremento del I_m en 0.1 representa una variación muy pequeña en la velocidad si la frecuencia permanece invariable.

- El rango de variación de la velocidad es mayor si se escoge variar la frecuencia, mientras que la variación del índice de modulación representa un menor rango de variación de velocidad.

- Debido a que en el inversor se usa un rectificador no controlado con filtro de entrada, el voltaje prácticamente no se distorsiona, pero la corriente de entrada es distorsionada debido a la presencia del filtro de entrada capacitivo, siendo en este caso necesario el uso de inductancias en la entrada del inversor para suavizar los picos de corriente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gonzalez José A., INTRODUCCION A LOS MICROCONTROLADORES, Mc. Graw-Hill, 1992.
- [2] Gualda J., Martinez S., Martinez P., ELECTRONICA INDUSTRIAL: TECNICAS DE POTENCIA, Alfaomega, 1992.
- [3] Hart Daniel W., INTRODUCTION TO POWER ELECTRONICS, Prentice Hall Internacional, 1997
- [4] Kosow Irving, MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES, Prentice-HallHispanoamericana S.A., 1974.
- [5] Mohan N., Robins W., POWER ELECTRONICS, John Wiley- Sons Ing., 1995.
- [6] Muhamed Rashid, ELECTRONICA DE POTENCIA, Prentice Hall Hispanoamericana S.A. , 1993.